

高速度カメラを使った小型ベルトサンダー周りの粉塵挙動の可視化*)

Visualization of Sanding-Dust Movement around the Portable Belt Sander by the High Speed Photography

池 際 博 行

Hiroyuki IKEGIWA

(和歌山大学教育学部技術教育専修)

早 崎 大 輔

Daisuke HAYASAKI

(和歌山市立八幡台小学校)

徳 本 真 一

Shinichi TOKUMOTO

(和歌山県工業技術センター)

播 摩 重 俊

Shigetoshi HARIMA

(和歌山県建具事業協同組合)

2011年 8 月23日受理

Abstract

The portable belt sander is often used at wood working time in junior high school. Though we know the sanding machine scatters many fine dusts in the working shop, we could not make the flow of arisen dusts visible so far. Now, we were able to make the flow of dusts visible by using high speed camera and the image processing of the picture.

We recognized follows ;

- 1) As soon as the sanding was begun, the produced dusts were instantly scattered in the vicinity of the worker's noses and mouths.
- 2) In a few seconds, a high density zone was formed near the worker's side by the belt sanding.
- 3) Especially, many dusts were scattered by the plywood sanding and the end sanding of Japanese Sugi.

要旨

中学校教科「技術」において材料加工時に木材の加工実習でよく使われる小型ベルトサンダーから発生する粉塵の挙動を高速度カメラによる撮影と、得られた画像の数値処理により明らかにすることができた。その処理画像から、以下のことが明らかとなった。

- 1) 発生した粉塵は瞬時に作業者の呼吸器系の付近に放出される。
- 2) 数秒で高い濃度になって滞留する。
- 3) 合板やスギの木口面研削時にとりわけ濃度が高くなる。

キーワード 中学校技術科、作業安全衛生、材料加工、ベルトサンダー、木材研削、粉塵

1. はじめに

中学校教科「技術」では、材料加工実習時に様々な工具や簡単な加工機械が使用されており、そのため安全な作業の指導やケガ防止のための「安全管理」に関する注意が払われる必要がある。1960年代の技術科で使用されていた手押しかな盤による指の切断事故¹⁾を皮切りに危険度の高い加工機械の使用が禁止され、「安全管理」の在り方が若干見直されたが、教育現場での加工機械の使用に当たっては、簡便なものであっても児童・生徒の健康・安全面の配慮がとりわけ必要である。

中学校教科「技術」の授業では、材料加工に木材が

使用され、接合にあたっては、多くの場合釘や木ねじを使った「打ち付け接ぎ」が用いられる場合が多い。その場合の接合面は平滑な平面であることが要求され、「技術」の授業時数や使用道具の制限などから、多くの学校では接合面の加工に電動式ベルトサンダーが用いられることが多い。それはベルトサンダーが鋭利な刃物を使用しておらず、生徒は比較的 safely に加工作業が行なえるためである。作業者は、使用に当たって大小2つのローラー間に張り渡されたベルト状の研磨布紙に材料を押し付けるようにして加工面を研削する^{2),3)}(実験で用いた Portable Belt Sander、Fig. 1)。

しかし、ベルトサンダーによる加工では、作業中に

微細な切削粉が発生し、これが空气中に浮遊するため作業環境を悪化させる。この浮遊性粉塵については人体の呼吸器系へ与える影響も懸念される。小松は⁴⁾、木材粉塵の吸入による呼吸器の障害について、わが国で木工業に使用されている種々の木材の粉塵が持つアレルギー性についての調査を行った。それによると、ネズコやベイスギを扱う木工業者の間に粉塵吸入による種々の症状がみられたという。

ベルトサンダーによる発生粉塵については、家具業界で一般に用いられる樹種であるブナを用いてその濃度、大きさ、性質などについての検討がなされている。趙川ら⁵⁾は研磨材粒度、研削圧力、研削時間、研削方向を実験因子に取り上げ、ブナ材をベルト研削し、エアサンプラーで捕集した粉塵の粒径分布とその特性値を分析した。その結果、



Fig. 1 The portable belt sander used for the test.

粒径分布は研削条件に関らず、最頻値が微細な粒子側へ大きく偏る非対称の双峰分布であり、研磨材粒度や研削圧力がその分布に影響を与えているという。一方、研削時間や研削方向は特性値に影響を及ぼさないことが明らかにされた⁶⁾。趙川らはまた、木材のベルト研削から発生する浮遊粉塵の幾何学径と形状指数の分布特性、研削中と研削後の粉塵の形態的特徴についても報告している⁷⁾。しかし、他の木質材料の検索結果については言及がないことから、池際らはMDF、合板、スギ材を用いて同様の研削実験を行い、スライドグラス上に捕集した浮遊性粉塵を、画像解析する方法でその粒度分布を計測し、作業位置の鼻や口の近くに多くの粉塵が浮遊すること、MDFや合板といった木質材料の研削時に粒子径の小さな粉塵が多く排出されることを明らかにした⁸⁾。しかし、ベルトサンダーによる発生粉塵の評価に関するこれらの研究は粉塵の粒径や形状に関する分析が主であり、研削時にベルトサンダー近傍でどのように粉塵が移動・飛散しているかを視覚的に確認した実験・研究はない。そこで本研究ではこの点に着目し、木材をベルト研削した瞬間にどのように粉塵の分布状態が出現し、移動・飛散されているかを視覚的に明らかにすることを目的とした。そのため、和歌山県工業技術センターから貸与されたハイスピードカメラを使用し、木材の研削初期状態におけるベルトサンダー周りの発生粉塵の撮影を行った。撮影したハイスピード画像による粉塵の移動と飛散の様子は、視覚的に判断しやすくするための画像処理プログラムを自作し、可視化のための処理を加えた。その結果、木

材をベルト研削した瞬間にどのような粉塵の分布状態が出現するかを粉塵の移動による濃度差の時間変化として捉えることができた。

2 実験

2-1 研削試験片及び発生粉塵の撮影方法

窓や扉などの開口部を閉め、空気の流れがほとんどない木材加工室で、ベルトサンダー(日立工機製BGH-100型・ベルト回転数3600rpm・研削粒度AA-100)を用い、木口面・木端面の加工に適した配置(プラテンを垂直に立てて作業テーブル上で試料をベルトに押し付ける配置)にして試験片を研削した(Fig. 2)。ベルトの走行速度は回転数から28.25%と計算される。

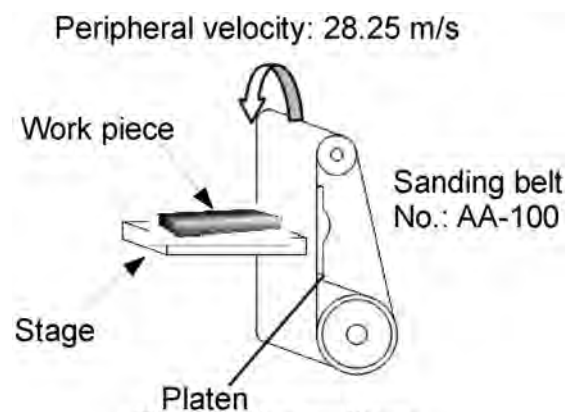


Fig. 2 Sanding conditions.

試験片はMDF(Medium Density Fiberboard)、合板、スギ材で、試験片は15×70×240mmに加工し、MDFおよび合板は側面を、スギについては木口面及び木端面を研削した(Fig. 3 参照)。材の押し付けは手動により行ったが、送り速度はほぼ同じになるように注意した。

試験片の研削時間は、研削開始から5秒間とし、0～約3秒間をハイスピードカメラ(ナックイメージテクノロジー(株)MEMRECAMfx K5)を用いて撮影した。カメラのサンプリングレートは1秒間に250枚に設定した。

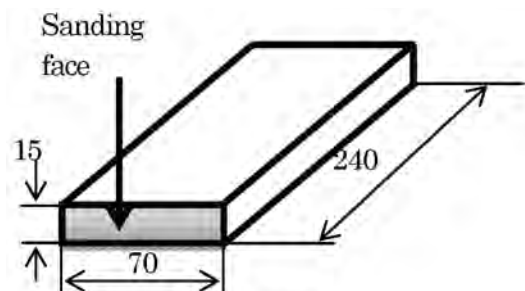


Fig. 3 Sizes of work piece

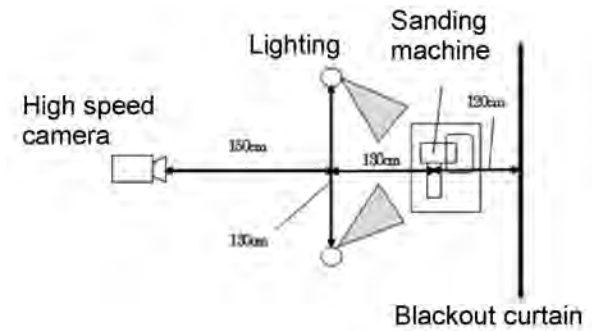


Fig. 4 Layout of photograph devices.

撮影時には室内照明は消し、撮影用照明器具(500Wのハロゲンライト2台)のみによる照明とした。また、背景部分には反射率の低い暗幕を配置し、反射光の映り込みがおこらないようにした。なお、研削中には集塵装置は稼働させなかった(Fig. 4 参照)。

2-2 画像処理の方法

ハイスピードカメラの撮影データは、グレースケール・bitmap(BMP)形式(1280×1024 1.25MB)の画像としてコンピュータに取り込み、Microsoft VisualC++ 6.0を用いて画像から分布状態を可視化する画像処理プログラムを作成した。

BMPファイルには、最初に14byteの固定のファイルヘッダ部分があるのでファイルヘッダには、「ファイルタイプ」、「ファイルサイズ」、「予約領域」、「オフセット」の情報を書き込む。

BMP FileHeader

| | | |
|-------------|-------|-----------------------------|
| bfType | 2byte | ファイルタイプ |
| bfSize | 4byte | ファイルサイズ(byte) |
| bfReserved1 | 2byte | 予約領域 |
| bfReserved2 | 2byte | 予約領域 |
| bfOffBits | 4byte | ファイル先頭から画像データまでのオフセット(byte) |

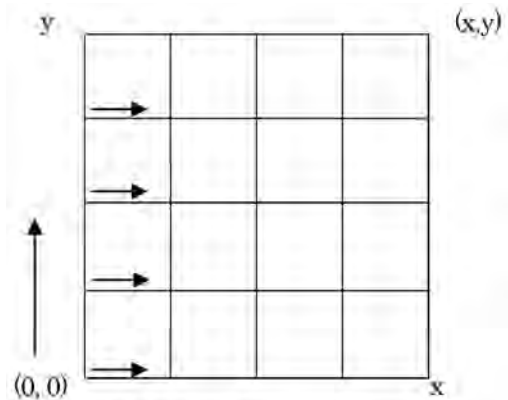
ファイルヘッダの次は、情報ヘッダにBMPファイルに関する以下の諸項目を書き込む。

BMP InfoHeader

| | | |
|---------------|-------|--------------------|
| biSize | 4byte | 情報ヘッダのサイズ(byte) |
| biWidth | 4byte | 画像の幅(ピクセル) |
| biHeight | 4byte | 画像の高さ(ピクセル) |
| biPlanes | 2byte | プレーン数 |
| biBitCount | 2byte | 1画素あたりのデータサイズ(bit) |
| biCompression | 4byte | 圧縮形式 |
| biSizeImage | 4byte | 画像データ部のサイズ(byte) |

| | | |
|----------------|-------|--------------------|
| biXPixPerMeter | 4byte | 横方向解像度(1mあたりの画素数) |
| biYPixPerMeter | 4byte | 縦方向解像度(1mあたりの画素数) |
| biClrUsed | 4byte | 格納されているパレット数(使用色数) |
| biClrImportant | 4byte | 重要なパレットのインデックス |

FileHeader, InfoHeaderの書き込みを終えた後、画像データ部の記録を行うが、画像データは画像の左下から右上に向かって記録されていく。



画像処理は、まずFileHeaderとInfoHeader及びColorParetの設定を行い、次に画像データ部に処理を施すというプログラムで行った。

画像データの処理手順は、

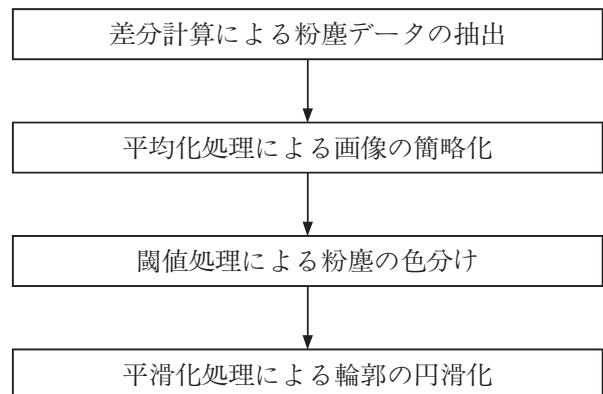


Fig. 5 Flow chart of calculation process.

とした。

2-3 差分計算

撮影画像の中から不要の背景を取り除き、粉塵デー

タのみを抽出するために差分計算を行った。撮影データの1枚目の画像(G_1)を、まだ材料が研削されていない非研削時のバックグラウンド画像とした。この非研削時の画像と、研削開始から t 秒後の画像(G_t)の同座標のデータを1 pixel毎に取り出した。その2データの差分を計算し、得られた数値を粉塵データ P とした。式を以下に示した。

$$P(x,y)=G_t(x,y)-G_1(x,y)$$

G_t : 研削時のある点の画像データ

G_1 : 非研削時の同一点の画像データ

処理の手順をフローチャート (Fig. 4) に示した。

なお、ベルトサンダー及び作業者部分は、粉塵の挙動が確認できないため削除した。

研削前、研削時及び差分処理後の画像を Fig. 6-1 と Fig. 6-2 および Fig. 6-3 に示した。



Fig. 6-1 An image of the working space before sanding.



Fig. 6-2 An image of the working space in sanding.

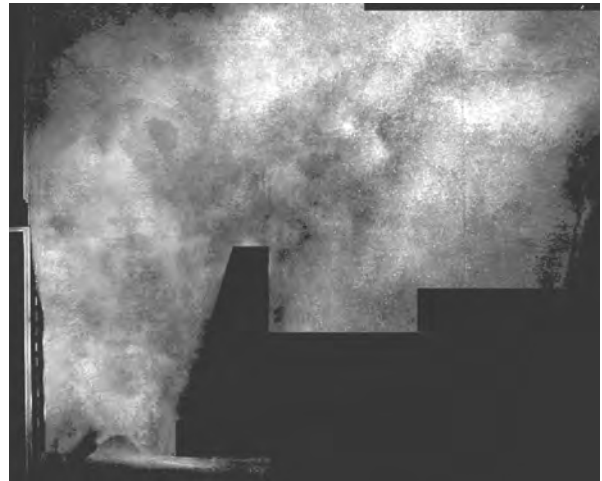


Fig. 6-3 A binary image of the working space in sanding.

2-4 閾値処理

粉塵の濃淡をより視覚的に見やすくするため、粉塵データの輝度値を10段階に分け、値の低い部分を黒及び寒色系、高い部分を白及び暖色系の色に変換して、濃度差を可視化した。すなわち、プログラムによってデータを順番に読み込んでいき、そのデータを閾値によってそれぞれの色のデータに変換する処理を行った。閾値処理後の画像は Fig. 7 に示した。

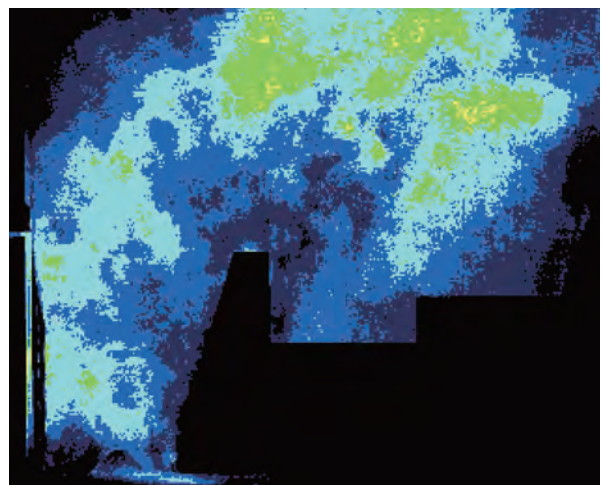


Fig. 7 Colored image of differenced data. (Refer Fig. 6-3)

なお、閾値処理で作成した画像では、各色の境界部分に極端に異なる色度をしめす点が多く現れる。これは単位ピクセル処理による誤差に基づくものであり、濃度の変化をなめらかなものにするためには、境界部分に何らかの処理をほどこす必要がある。まだら点を除去する処理は平滑化処理によって行った。具体的には画像のある点1 pixelとその周囲8 pixelのデータの平均化を行い、その数値を平均データとした。式を以下に示した。

$$C(x,y) = \left\{ \sum_{j=-1}^1 \sum_{i=-1}^1 C(x+j,y+i) \right\} / 9$$

3 結果と考察

粉塵発生初期の画像解析結果を以下に示す。Fig.8-1～Fig.8-6に表示した図はMDFの研削初めから0.1秒毎の経過を示す画像である。図中の目盛りは、試験片の研削位置である基準テーブル面を0 cmとし、20cm毎の高さを示したものである。

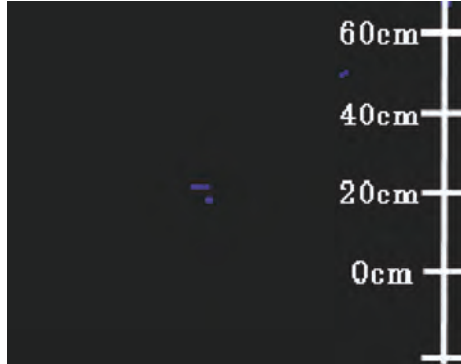


Fig. 8-1 The image of MDF sanding dust just processed (0.0 s).



Fig 8-2 The image of scattered dusts just processed at 0.1 s.



Fig. 8-3 The image of scattered dusts just processed at 0.2 s.
Arrows shows the flow directions.

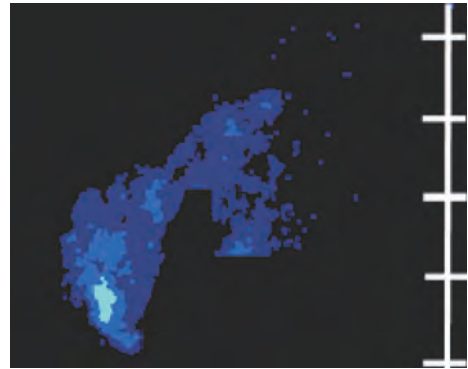


Fig. 8-4 The image of scattered dusts just processed at 0.3 s.

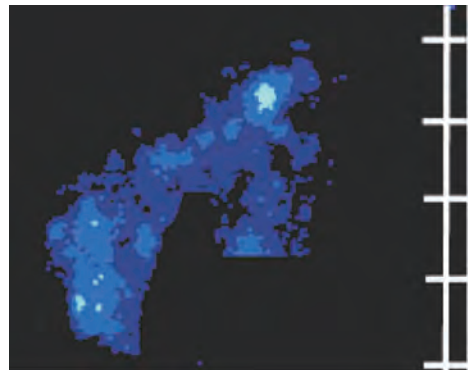


Fig. 8-5 The image of scattered dusts just processed at 0.4 s.



Fig. 8-6 The image of scattered dusts just processed at 0.5 s.

これらの画像を見ると、研削直後に発生し放出された粉塵は瞬時にベルトサンダー下部のローラー部をまわってベルト面上をその回転方向に沿っての上部ローラー側に移動し、そこから作業位置の方に向かって放出されてゆくことがわかる。(Fig. 8-3)。

これは、ベルトの走行によってベルト付近の空気が回転方向へ移動するため、その空気の流れに伴って粉塵が誘導されるように飛散されていることによる。また、急激にベルトの向きが変えられる半径の小さな上部ローラー部では、ベルトの回転流れについてゆくことができず、粉塵粒子は遠心力により接線方向に放出される。作業側へより多く飛散するのは、このた

めと考えられる。

このように、研削が始まると瞬間的に発生粉塵がベルト周りに発生、拡散することが視覚的に確認できた。さらに、各試験体の研削開始から2.5秒後の拡散状況を示す画像を以下(Fig.9-1～Fig.9-4)に示した。

濃度の低いところを青系統の色で、濃度の高いところを黄赤系統の色であらわしたこれらの画像から、合板およびスギの木口面研削時に作業者の口や鼻の位置に近い0.6mの高さ付近に、とりわけ高い濃度の粉塵帯が、わずか数秒で形成されることが明らかとなった。

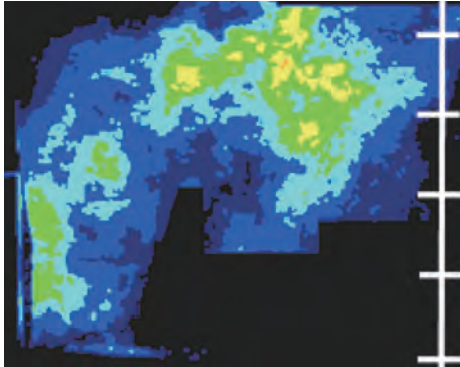


Fig. 9-1 The image of scattered MDF sanding dust at just processed 2.5 s.

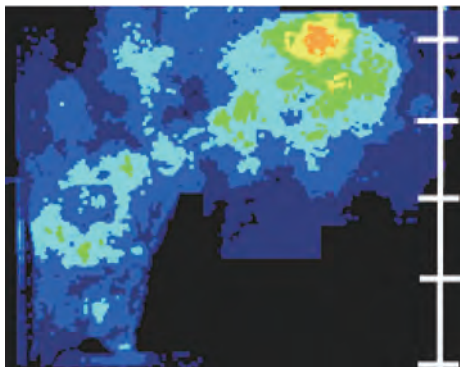


Fig. 9-2 The image of scattered Plywood sanding dust at just processed 2.5 s.

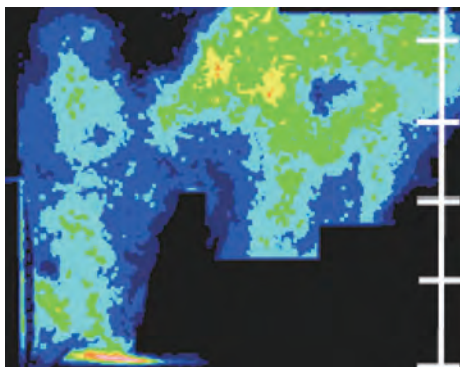


Fig. 9-3 The image of scattered dust of Japanese Sugi edge-sanding at just processed 2.5 s.

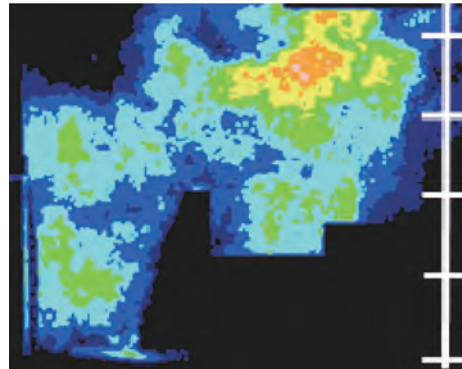


Fig. 9-4 The image of scattered dust of Japanese Sugi end-sanding at just processed 2.5 s.

4 結論

高速度カメラによる撮影と画像処理の技法を活用することによりこれまで困難とされてきた、木材研削時の発生粉塵の挙動を可視化することができた。

その結果、

- 1) ベルトサンダー周りの粉塵挙動から作業者の口や鼻の付近に濃度の高い粉塵帯が数秒で形成されること、
- 2) ベルト研削時の発生粉塵は、ベルトの回転による空気の流れに沿ってほぼ接線方向に放出されるが、とりわけ上部ローラーから作業者側に向かって放出される量が多いこと、

を明らかにすることができた。

以上のことから、とりわけ中学校教科「技術」の実習で多用されるベルトサンダーの使用に際しては、作業安全衛生面から、ともすればおざなりになる傾向のある粉塵の処理を、怠りなく行うことの重要性が指摘できたと考えられる。

注

*) 本研究は日本産業技術教育学会近畿支部 第27回研究発表会(大阪 2010)において発表した。

文献

- 1) 佐々木享：「技術科教育の安全対策—文部省ついに手押しかな盤の使用禁止を指示」、『教育』221号(1968)
- 2) 職業能力開発総合大学校・能力開発研究センター編：『木工用機械』、p237(2003)
- 3) 職業能力開発総合大学校・能力開発研究センター編：『木工用機械』、p110(2003)
- 4) 小松富三男：「木材粉塵吸入によるアレルギー性上気道障害」、『産業医学6(3)』、日本産業衛生協会、p197(1964)
- 5) 趙川、安藤恵介、服部順昭、喜多山繁：木材学会誌、46(5)、pp413-420(2000)
- 6) 趙川、安恵介、服部順昭、喜多山繁：木材学会誌、47(3)、pp218-226(2001)
- 7) 趙川、安藤恵介、服部順昭、喜多山繁：木材学会誌、47(3)、pp227-234(2001)
- 8) 池際博行、早崎大輔、播摩重俊、徳本真一：和歌山大学教育学部紀要—自然科学—、第61集、pp.37-41(2011)